第39講　分子進化，ハーディ・ワインベルグの法則

■ハーディ・ワインベルグの法則

以下の５つの条件を満たす集団（メンデル集団）において，

- 個体の生存率，繁殖率に差がない
- 自由交配である
- 突然変異が起きない
- 個体の流入出がない
- 集団のサイズが十分に大きい

⇒

①遺伝子頻度と遺伝子型頻度の相互計算が可能。
②世代を経ても遺伝子頻度は変化しない。

遺伝子頻度			遺伝子型頻度
A	a	⟷	AA：Aa：aa
p	q		p^2 ：$2pq$：q^2

あるメンデル集団において，対立遺伝子Ａとａの頻度が0.6と0.4であるとき，

遺伝子頻度			遺伝子型頻度		
A	a	⟶	AA	Aa	aa
0.6	0.4				

別のメンデル集団において，表現型［a］の頻度は0.04である時の集団中の遺伝子頻度

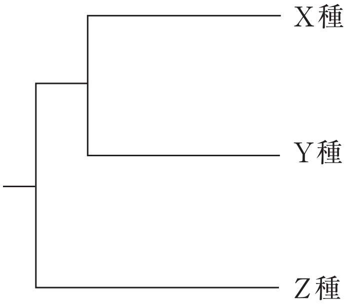
遺伝子頻度			遺伝子型頻度		
A	a	⟵	AA	Aa	aa
			［A］＝0.96		［a］＝0.04

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

■分子時計

…　DNAの塩基配列やタンパク質のアミノ酸配列が突然変異によって変化していくことを分子進化という。このとき，中立な変異ほど蓄積されやすく，異なる生物種間での配列の変化の度合いをもとに両者の系統関係を把握することができる。

化石などの証拠から，X種とY種が共通祖先から分岐したのが5000万年前であったと推定された。



ある遺伝子において，
XY間の塩基の相違は10個
XZ間の塩基の相違は17個
YZ間の塩基の相違は15個

(1)　１塩基が置換するのに約何年必要か？

(2)　X種とZ種が共通祖先から分岐したのは約何年前か？

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第39講　演習問題

次の文を読み，(1)と(2)の問に答えよ。

現代の進化説につながる考えはダーウィンによって提唱された。ダーウィンは生存に有利な形質をもつ個体が次世代により多くの子を残し，この子孫が集団中に増えることにより進化が起こるという(　a　)説を唱えた。その後，ド＝フリースはオオマツヨイグサの集団中に形質の違うものがあらたに生じ，それが遺伝することを発見し，この現象を(　b　)とよんだ。

このようなことから，(　b　)によって生じた新しい形質をもった個体が(　a　)によって集団中に広まることで進化すると考えられるようになった。この考えでは，生物のさまざまな形質はすべて適応的な進化の産物であるとされる。しかし，DNAやタンパク質などの分子レベルの変異は，生存に有利でも不利でもなく，(　a　)をうけない(　c　)的なものが多い。このような変異の遺伝子は(　d　)によって偶然に集団中に広がることがある。このような考えを(　c　)説といい，木村資生によって提唱された。

このように現代では，(　b　)によって生じた遺伝的変異が(　a　)と(　d　)によって広がり，集団の遺伝子頻度が世代間で変化することが進化の要因と考えられている。さらに，同種の集団が地理的に隔離され，互いに交配できなくなると，それぞれの集団で独自の進化が起こり，遺伝子頻度が変化する。そして長い年月の間に遺伝的変化が大きくなり，再び同じ場所に生育するようになっても交配できなくなる。この状態を(　e　)隔離といい，新しい種が形成された状態となる。このように，一つの種が複数の種に分かれたりすることを(　f　)という。

集団内の遺伝子頻度の変化を野生生物の集団にあてはめて考えることは難しい。そこで，次の五つの条件を満たす仮想集団(メンデル集団)について考える。

①　集団の大きさが十分に大きい。
②　個体によって生存力や繁殖力に差がなく，(　a　)がはたらかない。
③　集団内において(　b　)が起こらない。
④　集団内のすべての個体が(　g　)して子孫を残す。
⑤　他集団との間で個体の移入や移出がない。

この条件を満たす集団であれば，遺伝子頻度は世代間で変化しない。これをハーディ・ワインベルグの法則という。したがって，この条件を成立させない要因が進化の要因であるといえる。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

⑴　文中の（　a　）～（　g　）に適切な語を記せ。

⑵　ある一年生植物には，体内に酵素Xをつくる個体とつくらない個体がある。この形質は一対の対立遺伝子Aとaによって決まり，酵素Xをつくる遺伝子Aがつくらない遺伝子aに対して優性である。この植物のある集団を調べたところ，酵素Xをつくらない個体が全体の4％存在した。この集団ではハーディ・ワインベルグの法則が成立するものとする。次の1)～3)の問に答えよ。

1)　この集団の遺伝子Aとaの遺伝子頻度をそれぞれp，qとする（ただし$p+q=1$）。pの値を小数で答えよ。

2)　この集団において，遺伝子型がヘテロAaの個体の割合［％］を答えよ。

3)　この集団で，遺伝子型aaの個体がすべて死亡したとすると，次世代のa遺伝子頻度はいくらになるか。なお，解答は四捨五入して，小数点第二位まで求めよ。

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第39講　確認テスト

〔A〕　地球は約［ア］億年前に誕生し，それから約6億年後に原始生命が誕生したと考えられている。原始の海では，酸素はほとんど含まれていないが有機物は多く蓄積されていたため，地球上に最初に現れた生物は(1)有機物を利用して［イ］的な過程によりエネルギーを獲得する原核生物と考えられている。また，メタンや水素などを化学反応させたときに放出されるエネルギーを利用する(2)化学合成細菌も存在していたと考えられている。約27億年前には光エネルギーを使って有機物を合成する(3)シアノバクテリアが出現し，二酸化炭素が消費され大量の酸素が海水中に供給されるようになり，その数億年後には(4)海水中に溶けた酸素を積極的に利用して［ウ］的な呼吸を行う原核生物が出現した。約20億年前には(5)真核生物が出現し，さらに約5億年前には生物に有害な［エ］を吸収するオゾン層が形成され，生物が水中から陸上へ進出できるようなった。その後も生物は絶滅と進化を繰り返しながら，現在のような膨大な数の生物種が生み出されてきた。

問１　文中［ア］～［エ］にあてはまる語句の組み合わせとして最も適当なものを，次の中から1つ選べ。

	ア	イ	ウ	エ
①	38	好　気	嫌　気	紫外線
②	46	好　気	嫌　気	赤外線
③	38	好　気	嫌　気	赤外線
④	46	嫌　気	好　気	紫外線
⑤	38	嫌　気	好　気	紫外線
⑥	46	嫌　気	好　気	赤外線

問２　先カンブリア時代の地層からは，ストロマトライトという層状構造をもった岩石が発見されている。ストロマトライトは，下線部(1)～(5)のうちどの生物の存在を示すものか。最も適当なものを，次の中から1つ選べ。

①　(1)　②　(2)　③　(3)　④　(4)　⑤　(5)

問３　下線部(5)の真核生物の起源を説明する仮説としては，細胞内共生説が最も有力である。この説によると，植物細胞のミトコンドリアと葉緑体の起源は，下線部(1)～(4)の生物のうちどれになるか。組み合わせとして最も適当なものを，次の中から1つ選べ。

	ミトコンドリア	葉緑体		ミトコンドリア	葉緑体
①	(1)	(2)	②	(1)	(3)
③	(2)	(2)	④	(3)	(3)
⑤	(4)	(2)	⑥	(4)	(3)

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

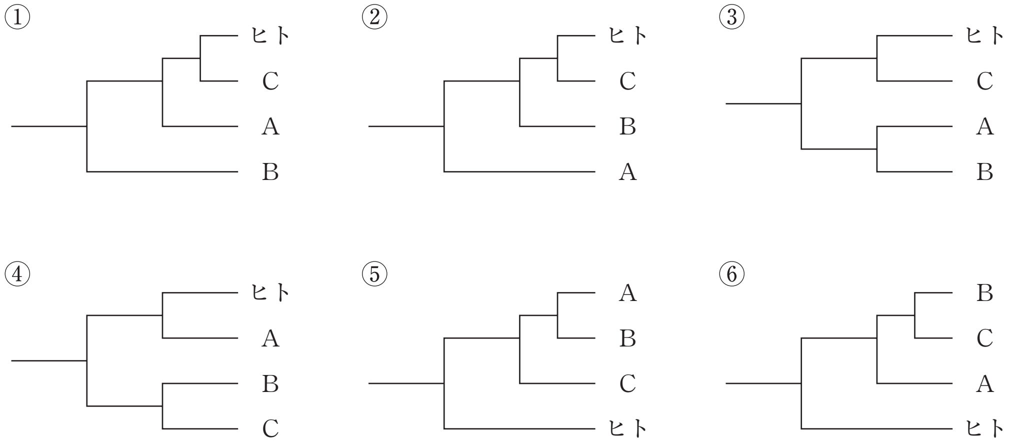
〔B〕 下の表は，ヒト，動物A, B, Cについてヘモグロビンのα 鎖のアミノ酸配列を比較し，2生物種間で異なるアミノ酸の数を示したものである。ヘモグロビンのα 鎖のアミノ酸の変化は，生物種に関係なく一定の速度でおきるものとする。

	ヒト	A	B	C
ヒト				
A	37			
B	79	84		
C	17	43	75	

問４　下線部のことを利用して生物種が分岐した年代を推定することができる。これは一般に何という考え方か。最も適当なものを，次の中から1つ選べ。

① 遺伝的浮動　② 遺伝的多様性　③ 生物時計
④ 分子時計　⑤ 種間相互作用

問５　ヘモグロビンのα 鎖のアミノ酸置換数をもとに作成した系統樹として最も適当なものを，次の中から1つ選べ。



問６　ヒトと動物Cの共通祖先が分岐したのは，約7,500万年前と考えられている。ヘモグロビンのα 鎖の1個のアミノ酸が変化するのに約何万年かかることになるか。最も適当なものを，次の中から1つ選べ。

① 90万年　② 200万年　③ 440万年　④ 660万年　⑤ 880万年

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第39講　演習問題

⑴　a　自然選択　b　突然変異　c　中立　d　遺伝的浮動
　　e　生殖的　f　種分化　g　自由交配

⑵　1）　$p=0.8$　2）　32％　3）　0.17

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第39講　確認テスト

〔A〕 問1　④　問2　③　問3　⑥
〔B〕 問4　④　問5　①　問6　⑤

【解説】

〔A〕

問1　地球は約46億年前に誕生したといわれている。その後，化学進化の過程を経て，およそ40億年前には生命が誕生したといわれている。原始の地球はほとんど酸素を含まない環境であったため，最初に生まれた生物は，酸素を用いずに有機物を分解してエネルギーを獲得していた従属栄養生物か，自身で有機物を合成する独立栄養生物であったと考えられている。その後，光合成によって酸素を発生するシアノバクテリアが出現，繁栄することで地球の酸素濃度が上昇し，生物に有害な紫外線を吸収するオゾン層が形成されていった。

問2　ストロマトライトは，シアノバクテリアの存在を示すものである。ストロマトライトは内部に層状構造をもった枕状の岩石であり，その表面では現存するシアノバクテリアが生息している。

問3　およそ20億年前に地球上に真核生物が出現したと考えられている。真核生物の進化では，宿主となった原核細胞に好気性細菌が共生することでミトコンドリアが，シアノバクテリアが共生することで葉緑体が獲得されていったと考えられている。

〔B〕

問4　塩基置換やアミノ酸置換などの分子レベルの突然変異には，生存に影響しない中立なものが多く，時間をかけて集団全体に広まっていく。そのため，2つの系統が分岐してからの時間が長いほど両者の塩基配列やアミノ酸配列には相違が多くなる傾向にある。この傾向を利用して，生物種が分岐した年代を推定する方法を分子時計という。

問5　表より，もっとも最近分岐した2種はヒトとC種となる。また，A種とB種において，ヒトとより近縁なのはA種となる。ゆえに，①が正しい。

問6　ヒトとC種のヘモグロビンでは17個のアミノ酸が異なる。これらの差は，7500万年前に分岐した2系統において，共通祖先のもつ配列から互いに $\frac{17}{2}=8.5$ 個ずつ変化が蓄積することで生じていると考えられる。7500万年で平均8.5個の変化が起こっていることから，1個のアミノ酸が変化するのには，$\frac{7500万}{8.5}\fallingdotseq 882$ 万年となる。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。